

레이더용 다중채널 수신기 설계 및 제작에 관한 연구

이기홍*, 김완식*, 김계국**

The Design and fabrication of Multi Channel Receiver for Radar System

Ki-Hong Lee *, Wan-Sik Kim*, Gye-Kuk Kim**

요 약

본 논문에서는 레이더용 다중채널 수신기를 제작하였다. 설계된 다중채널 수신기는 주파수 X-대역에서 8개의 동일 특성을 갖는 신호를 수신할 수 있으며, 80[dB]이상의 높은 수신 동적 특성을 갖는다. 또한 직접 수신처리를 위해 2개의 디지털복조처리가 내장된 일체형이므로 수신경로의 손실을 최소화하였고, 자체점검 기능을 부여하여 시스템의 안정성을 확보하였다. 다중채널 수신기의 성능으로는 수신 잡음지수 19[dB], 수신이득 20±2[dB], 수신 경로상의 크기와 위상 차이는 각각 ±2[dB], 10°이하를 갖는다.

▶ Key words : 다중채널 수신기, 레이더 시스템, 광대역신호

Abstract

In this paper, we fabricate multi channel receiver for radar system. This receiver at X-band can be received 8 signal of an identical characteristic, dynamic range has more than 80[dB]. To process direct received signals, this system has the built-in two digital de-modulators which offer the minimum loss on the receiving signal path and has high stability by adding Built-In Test. The gain, noise figure, difference of amplitude and phase on the signal path is respectively 20±2[dB], 19[dB], ±2[dB], 10° and below

▶ Key words : Multi Channel Receiver, radar system, Wide-band Signal

• 제1저자 : 이기홍, 김완식, 교신저자 : 김계국
• 투고일 : 2011. 07. 12, 심사일 : 2011. 08. 09, 게재확정일 : 2011. 08. 25.
* LIG넥스원 연구원(Investigator of LIG NEX1 Lab.)
** 강릉원주대학교 교수(Prof. of Gangneung-wonju National University.)
※ 2010년 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 발표논문"
※ 2010년 한국모바일학회 하계학술대회 발표논문"

I. 서론

최근 레이더 기술 경향은 기계식, 수동형의 단순 기능을 수행하는 레이더(Mechanically Steering or Passive Radar)에서 전기식, 능동형의 다기능을 갖는 레이더(Electronically Steering or Active Radar)로 진화하고 있다.[1] 이러한 추세의 뒷받침 될 수 있었던 것은 반도체 소자의 성능 향상으로, 시스템의 크기와 무게가 소형, 경량화 될 수 있고, 레이더 기능을 다양화 할 수 있는 장점을 준다.[2] 본 논문에서는 위와 같은 우수한 장점을 갖는 레이더의 RF 시스템에 적합한 다중 채널 수신기를 설계 및 제작하고 측정된 결과를 분석하였다. 수신기의 성능에 필요한 시험 항목과 다중 수신 경로상의 신호에 대한 크기와 위상을 보정하고 디지털복조처리를 통해 나온 신호 특성을 분석하여 수신 시스템의 성능을 검증 하였다.

II. 본론

레이더의 RF 시스템에 적합한 다중채널 수신기는 동일 특성의 다중 신호 처리와 각 신호 경로상의 손실을 고려하여 다음과 같이 설계 및 제작을 하였다.

다중채널 수신기를 구성하는 모듈은 총 9개로 구성되며 그 내용은 다음과 같다. 내부 전원공급을 담당하는 전원공급기, 이것은 외부로부터 +300V의 DC 전압을 입력받아 +15V, ±5V를 각 모듈에 공급한다.



그림 1. 다중채널 수신기 구성도
Fig. 1. Configuration of multi-channel receiver

그림 1과 같이 수신기는 4개로 구성되며, 각 수신기는 2개의 수신채널을 가지며 총 8개의 수신신호를 하향 변환한다. 또한, 8개의 수신신호의 크기와 위상을 제어하는 수신제어기가 있고, 수신신호 하향변환을 위한 국부 신호와 시스템 동기를 맞추기 위한 클럭 신호를 분배하는 신호 분배기로 구성된다. 최종 하향된 신호들은 2개의 디지털복조처리로

입력되어 동시에 8개의 수신신호를 처리한다.

다중채널수신기의 가장 큰 장점은 레이더의 RF시스템에 적합한 다중신호를 동일한 특성으로 수신하여 신호처리가 가능하다는 점이다. 본 수신 시스템에서는 수신에 필요한 잡음지수 및 이득 그리고 수신신호에 대한 크기와 위상을 보정할 수 있는 기능을 가지고 있다.

2.1 수신잡음지수와 이득

수신기 설계 시 수신 감도를 높이기 위한 요소 중 하나는 수신 잡음지수이다. 이는 레이더 시스템에서 MDS (Minimum Detectable Signal)를 탐지하기 위한 중요한 요소로 작용한다. 수신기의 감도(e, Sensitivity)를 계산하는 공식은 다음과 같다.[3]

$$e[V] = \sqrt{kTBF_r(S/N)_oR} \quad (1)$$

k = 볼츠만 상수, $1.38 \times 10^{-23} [J/K]$

T = 온도 [°K], $T[°K] = T[°C] + 273.15$

B = 잡음 대역폭 [Hz]

FT = 수신 잡음 요소 [선형]

(S/N)O = 요구되는 수신 신호 대 잡음비

R = 저항 [Ω]

상기 식에서 알 수 있듯이 수신기의 감도특성을 저하시키지 않게 하기 위해서는 수신 잡음 요소 (FT)를 최소화하는 방향으로 설계를 해야 한다. 여기서 말하는 수신 잡음요소는 수신 잡음지수를 일컫는다.

그림 2는 수신 경로 전체에 대한 전력을 분석하였다.

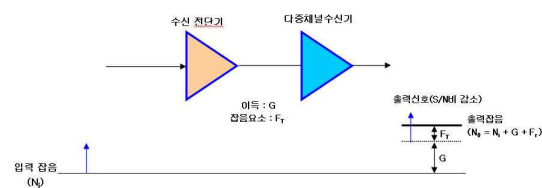


그림 2 전체 수신 잡음 지수의 개념도
Fig. 2 Concept of total noise figure

레이더 시스템의 전체 수신 경로는 수신전단기에서 다중채널 수신기까지의 경로로, 이때의 잡음 지수는 19[dB]이다.

그림 3은 다중채널 수신기의 블록도를 나타낸 것으로 잡음지수는 시스템 전력 분석 툴인 에질런트사의 GENESYS를 이용하여 분석하였다.

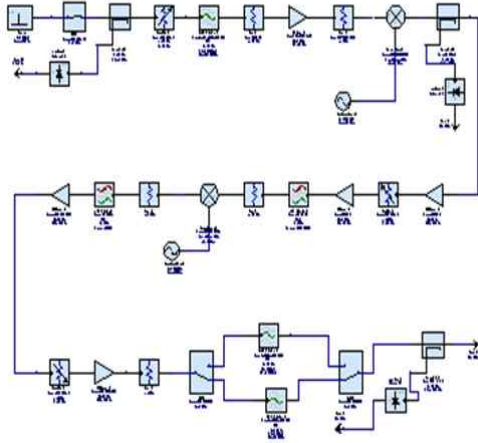


그림 3. 다중채널 수신기의 경로도
Fig. 3. block diagram of multi channel receiver

그림 4는 다중채널 수신기의 잡음지수를 시뮬레이션 한 것으로 약 20[dB]정도를 나타내었다. 그림 3을 이용한 계산 잡음지수의 경우에 비하여 1[dB] 가량 나빠지는데 이것은 경로 상에 있는 수동소자의 삽입손실 설정 문제로 최적화하여 개선할 수 있다.



그림 4. 수신 잡음지수 특성
Fig. 4. Noise figure Characteristics

그림 5는 다중채널 수신기의 이득을 분석한 것으로 예상 목표치에 근접하는 23[dB]를 나타내었다.



그림 5. 수신 이득 특성
Fig. 5. Gain Characteristics

2.2 수신채널간 이득 및 위상 보정

레이더 수신 시스템에서 중요한 요소 중 하나는 다중 경로상의 신호에 대한 동일특성을 보장해 주어야 한다. 여기서 동일특성이란 각 수신 경로상의 신호에 대한 크기와 위상이 동일해야 한다는 것이다. 그림 6에서와 같이 본 시스템에서는 각 수신기에 크기와 위상을 조절할 수 있는 DCA(Digital Control Attenuation)와 위상 변위기(Phase Shifter)를 두어 수신제어기를 통해 조절하고 경로상의 신호와 동일한 특성을 보이도록 하였다.

크기를 보정하기 위해 감쇠 영역은 31.5 ± 0.5 [dB]이고, 위상을 보정하기 위해 6bit 디지털 제어방식을 적용하여 스텝 5.625° 간격으로 360° 가변하도록 설정 하였다.

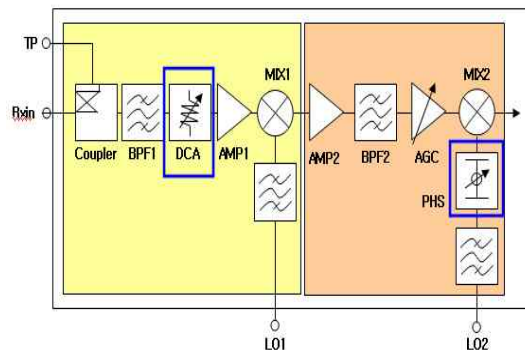


그림 6. DCA와 위상변위기를 적용한 수신 시스템
Fig. 6. Receiver system using DCA & Phase shift

그림 7에서와 같이 수신 동특성은 레이더 수신 시스템의 최소 입력 신호인 잡음전력을 최소 신호로 하고, 수신기의 신호 포화레벨인 1dB 압축점을 최대 입력신호로 규정하고 이 포화레벨까지를 수신기의 입력 동특성이라 할 수 있다.

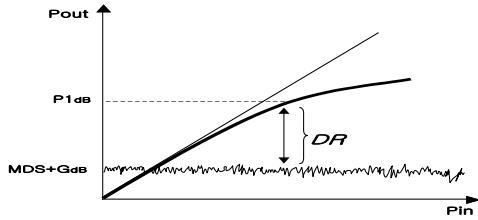


그림 7. 수신기 입력 동특성
Fig. 7. Input dynamic range in receiver

본 수신시스템의 동특성은 다음과 같다.[3][4]

$$\text{잡음전력} = k \times T_0 \times B_n \times NF \quad (2)$$

k = 볼츠만 상수, 1.38×10^{-23} [J/°K]

T0 = 온도 [°K], T[°K] = T[°C]+273.15

Bn = 잡음 대역폭 [Hz]

수신 대역폭이 5[MHz]이고 다중채널 수신기의 잡음지수가 19[dB]라 하면 수신경로의 잡음 레벨은 식(2)에 의해 구해진다. 식(2)에 대입하면, 수신경로의 잡음 레벨은 -88[dBm]가 된다. 이 값으로부터 수신 동특성 80[dB] 이상을 만족하기 위해서는 입력되는 최대 신호는 -8[dBm] 이상이면 된다. 수신 동특성은 수신단의 수신전력의 입력에 따른 수신단의 처리 능력을 나타내는 것으로, 다음 그림8은 80dB에 대한 수신 동특성의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

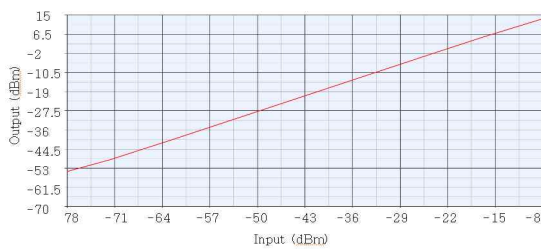


그림 8. 다중채널 수신기의 동특성
Fig. 8. Dynamic range of multi channel receiver

입력 전력 -8[dBm]까지 선형성을 유지하는 것을 볼 수 있다. 또한 DAC에 의해 수신단의 출력 동특성이 결정되는데, DAC의 최소 및 최대 전력 레벨은 아래식과 같이 계산된다. 여기서는 16bit DAC를 사용하였다.[3][4]

DAC 최소 입력 전력 레벨 계산 :

$$\begin{aligned} DAC_{min} \text{ (dBm)} &= 10 \log \left[\frac{(2V / 2^n)^2}{2R_L / P_{mW}} \right] \\ &= 10 \log \left[\frac{(2 \times 5 \times 1 / 2^{16})^2}{100} \right] + 30 \\ &= -70.77 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (3)$$

DAC 최대 입력 전력 레벨 계산 :

$$\begin{aligned} DAC_{max} \text{ (dBm)} &= 10 \log \frac{V^2}{R} + 30 \text{ dB} \\ &= 10 \log \left[\frac{(1/2\sqrt{2} \times V_{P-P})^2}{50} \right] + 30 \\ &= 10 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (4)$$

식(3), 식(4)로부터 DAC의 입력 동적 범위는 -70.77 [dBm]에서 +10 [dBm]이다. 결국 수신기의 동특성과 정합되어야 하므로 20[dB]의 이득이 요구되며, 반면 최대 입력 신호레벨은 18[dB]의 이득만 필요로 하므로 가변 감쇠기를 두어 조정하면 된다.

III. 성능 결과 및 분석

다중채널 수신기의 성능을 검증하기 위해 다음 그림9와 같이 측정 시스템을 구성하였다. 다중채널 수신기를 측정하기 위하여 수신기 제어기를 이용하여 DAC, AGC 등을 제어하고, RF 입력용으로 펄스신호발생기를, 국부 입력으로 신호발생기를 활용하여 입력신호로 사용하고 결과적으로 광신호를 통하여 각 수신 채널의 잡음지수와 이득 특성을 측정하였다.

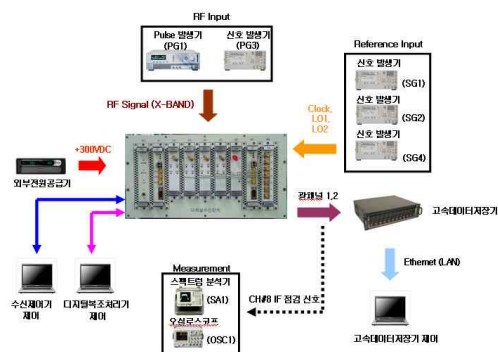


그림 9. 다중채널 수신기 측정 구성도
Fig. 9. Test system of multi channel receiver

3.1. 수신기 잡음지수와 이득

8개의 수신 채널별 잡음지수와 이득 측정 그래프는 다음과 같다.

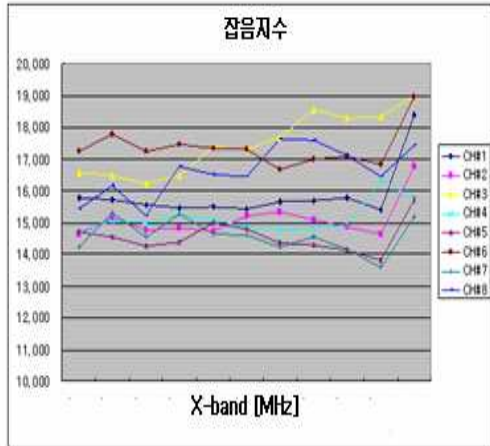


그림 10. 수신채널 별 잡음 지수
Fig. 10. Noise Figure at each channel

그림 10의 수신 잡음지수는 전 채널 별로 가장 특성 이 안 좋은 경우 19[dB]이며 대부분 14[dB]에서 19[dB]까지의 값을 갖는다. 그림11의 수신 이득은 23 ± 2 [dB] 특성을 갖으며 여기서 채널1과 2외에도 채널 8까지 각 채널 이득을 동일하게 유지하기 위해 10[dB] 감쇠를 전 수신채널에 적용하였다. 즉, 이득과 감쇠량을 더하면 전체 수신 이득을 알 수 있다.[5][6][7]

3.2. 수신 채널간 이득 및 위상보정

수신기의 각 채널간 잡음지수는 식(2)에서는 19dB로 계산되었으나 측정결과는 그림 10에서 보는 바와 같이 14dB에서 19dB 이내의 값으로 측정되었다.

18dB 이하의값은 DCA를 통하여 조정된 것으로 판단된다.

수신 채널의 출력 신호의 크기와 위상 특성에 대한 보정 전후의 파형은 그림 12, 그림 13과 같다.

수신 출력 신호의 크기와 위상 보정 후의 편차를 보면 이득은 23 ± 1.753 [dB], 위상은 2.35° 이하로 요구 조건에 만족하며 전체 수신 채널의 동일성을 보여주고 있다.

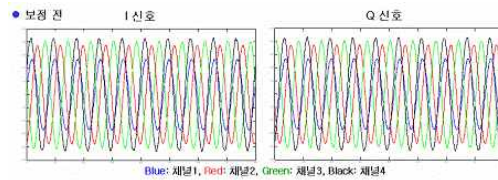


그림 12 수신 출력신호의 크기와 위상 보정 전
Fig. 12. Before calibration of amplitude and phase in output signal

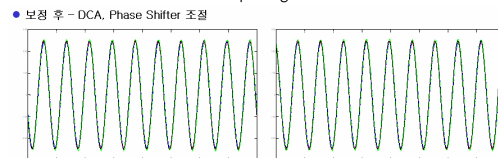


그림 13 수신 출력신호의 크기와 위상 보정 후
Fig. 13. After calibration of amplitude and phase in output signal

다중채널 수신기의 수신 동특성은 그림14와 같다. 최대 입력 전력은 -8 [dBm]까지 포화되지 않는 것을 볼 수 있다. 또한 디지털복조처리를 거쳐 나온 값이므로 DCA특성에 대한 보다 구체적인 데이터를 제공한다. 따라서 약 80dB 이상의 동적 범위를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

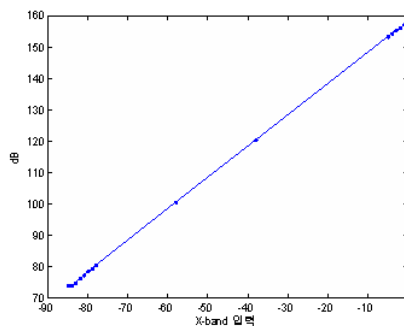


그림 14. 수신 동특성
Fig. 14. Characteristics of dynamic range

IV. 결론

본 논문에서는 레이더에 적합한 다중채널 수신기를 설계 제작하고 그것에 대한 성능을 검증 하였다. 수신기의 주요 성능 파라미터인 잡음지수, 이득 및 동특성은 시뮬레이션을 통해 예측하였으며, 시험을 통해 검증하였다.

또한 각 다중채널 수신기의 신호 특성을 동일하게 유지하기 위해 크기와 위상을 보정할 수 있는 DCA와 위상변위기를 사용하였다.

DCA를 통하여 이득을 조절하고 잡음지수의 변화를 보인 다중채널 수신기는 잡음지수와 이득을 각각 19dB, 23dB로 수동소자의 삽입손실을 최적화한 시스템이다. 시스템은 이득을 보정하기 위한 감쇠영역에서 31.5 ± 0.5 [dB]를 얻을 수 있었고, 잡음지수의 측정치가 각 채널에 따라 14dB에서 19dB로 동작하도록 하였다.

또한, 위상을 보정하기 위해 6bit 디지털 제어방식을 적용하여 스텝 5.625° 간격으로 360° 가변하도록 설정하여 수신 동특성 80[dB]이상을 만족하였다. 따라서 수신 출력 신호의 크기와 위상 보정 후의 편차는 이득의 경우 23 ± 1.753 [dB], 위상은 2.35° 이하로 요구 조건에 만족하여 전체 수신 채널에서 동일 성능을 보였다. 최대 입력 전력은 -8[dBm]까지 포화되지 않는 데이터로 디지털복조처리기를 거쳐 나온 값이므로 DAC특성에 대한 보다 구체적인 데이터를 제공하여 확인할 수 있었다.

결국 다채널 수신기를 설계 및 제작하여 측정한 결과 목표였던 수신기의 잡음지수 19[dB]이하에 대하여서는 14[dB]에서 19[dB]까지 특성을 나타내었다. 이득의 경우 20 ± 2 [dB]의 목표에 대하여 23 ± 1.753 [dB]를 얻었고, 수신 경로상의 크기와 위상 차이는 각각 ± 2 [dB], 10°이하는 1.753 [dB]와 2.35°를 얻을 수 있었다.

향후 연구 과제로는 광변환기를 수신채널에 포함시켜 수신기의 성능을 향상시키는 연구를 하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] The korean institute of electromagnetic engineering and science, 2009 National radar workshop and tutorial, 2009.7.

[2] T.W.Jeffrey, "Phase-Array Radar Design," Schitech, 2009.

[3] Kevin McClaning Tom vito, "Radio Receiver Design," Noble Publishing.

[4] Robert J.Mailloux, Phase Array Antenna Handbook, Second Edition, Artech House.

[5] H. Abe, Y. Takayama, A. Higashisaka, and H. Takamizawa, "Highly stabilized low-noise GaAs FET integrated oscillator with a dielectric resonator in the C-band," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-26, pp. 156-162, Mar. 1978.

[6] A. P. S. Khanna, J. Obregan, and Y. Garault,

"Efficient low-noise three port X-band FET oscillator using two dielectric resonators," in 1982 MIT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp. 277-279.

[7] M. Dydyk, "Dielectric resonators add Q to MIC filters," Microwaves, vol. 16, pp. 150-160, Dec. 1977

저 자 소 개



이 기 흥

2000 : 건국대학교 공학석사.
 2008 : LG이노텍, 선임 연구원
 2008 ~ 현재 : LIG넥스원 선임 연구원
 관심분야 : RF & MMW 능동 회로 및 MMIC 설계, 레이더 시스템 설계,
 전자우편 : propagation@empal.com



김 완 식

1990 : 건국대학교 공학사.
 1992 : 건국대학교 공학석사.
 2004 : 건국대학교 공학박사
 1991 - 1999 : 대우전자 중앙연구소
 2000 - 2004 : 고등기술연구원 수석연구원
 2005 - 현재 : LIG넥스원 연구개발본부 수석연구원
 관심분야 : RF & MMW 회로 및 시스템 설계, 레이더 시스템 설계, MMIC
 전자우편 : wansik@hanmail.net



김 계 국

1983 : 원광대학교 전자공학과 졸업 공학사
 1990 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업
 1985 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1991 - 1999 : 대우전자 중앙연구소
 현재 : 강릉대학교 정보통신공학과 교수
 관심분야 : 안테나 및 초고주파회로
 전자우편 : woodol23@gwnu.ac.kr